

한국인 다소비 섭취 식품의 방사선 조사 후 항산화 영양소와 비타민 B₁의 변화*

장현희¹⁾ · 남혜선²⁾ · 이선영^{1)§}

충남대학교 식품영양학과,¹⁾ 경인지방식품의약품안전청²⁾

Changes in Antioxidant Nutrients and Vitamin B₁ Contents of Gamma Irradiated Foods Consumed most Frequently in Korea*

Jang, Hyun-Hee¹⁾ · Nam, Hye-Seon²⁾ · Ly, Sun-Yung^{1)§}

Department of Food & Nutrition,¹⁾ Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea
Gyeong-In Regional Korea Food and Drug Administration,²⁾ Incheon 402-835, Korea

ABSTRACT

Food irradiation has been steadily increased in many countries concomitantly with increasing international trades and concerns about naturally occurring harmful contaminants of food. Although, irradiation provides an excellent safeguard for the consumer by destroying harmful bacteria, it would be necessary to investigate nutritional adequacy of irradiated foods with a special emphasis on such foods as red pepper powders, cold-water fishes (mackerel), sesame seeds that are widely consumed in Korea. These food items are of special concern due to the fact that most of them are imported and that several nutrients contained in them are sensitively reacting to irradiation. We observed changes in the antioxidant nutrients contents, such as vitamin A, β -carotene, vitamin C and total phenol, and also vitamin B₁ in the foods that were irradiated at different dose levels. The nutrients contents in red pepper were respectively 98.6% and 92.3% for total phenol, and 97.8% and 94.5% for β -carotene, right after irradiation at the dose of 10 and 20 kGy. The vitamin C contents decreased with irradiation doses up to 76.4% (10 kGy) and 68.5% (20 kGy) and B₁ contents decreased to 54.9% and 80.7% of non irradiated red pepper. When the mackerel was irradiated at the applied dose of 3 and 7 kGy, total phenol concentration of the irradiated fish was respectively 91.3% and 94.2% of non irradiated fish. The amounts of vitamin A were 82.6% (3 kGy) and 78.0% (7 kGy) of unirradiated sample and vitamin B₁ contents reduced to 30.5% and 51.5%. α -Tocopherol content was 33.9% of the non-irradiated one when it was irradiated at 7 kGy. Vitamin A and γ -tocopherol contents in sesame seeds linearly decreased with the applied doses (5 and 10 kGy). Vitamin A contents decreased up to 87.8% (5 kGy) and 82.9% (10 kGy) and that of γ -tocopherol were 72.4% and 66.5% of the unirradiated sample. (*Korean J Nutrition* 37(1) : 38~44, 2004)

KEY WORDS : food irradiation, antioxidant nutrients.

서 론

1950년대부터 전세계적으로 광범위하게 사용되어온 X선과 감마선 처리는 식품의 발아나 숙도의 억제 또는 미생물을 살균함으로써 식량의 손실을 줄이고 저장기간을 늘리며 식품의 품질 저하를 막기 위하여 도입되었다. 1980년

이후에는 식품의 위생화를 위하여 닭고기 등의 육류, 생선, 갑각류 등에 주로 존재하는 식중독균 (주로 E. coli, 0-157 : H7, Listeria, Salmonella, Campylobacter 등과 같은 병원성 균들)을 감소시키고자 하는 목적으로도 이 기술을 이용해 왔다. 식품의 방사선 조사는 현재 40여개 국에서 향신료, 곡류, 과채류, 육류, 해산물 등 230여개의 식품에 허가되어있다.¹⁾ 이러한 허가는 1980년에 있었던 FAO/IAEA/WHO 전문가 위원회 방사선 조사 식품의 안전성에 대한 보고서에 의하여 평균 조사량 10 kGy까지는 독성을 지니지 않는다는 결론에 근거한 것이다. 아울러 1970년대까지 이루어진 방사선 조사 식품의 영양학적 평가 결과는 탄수화물과 단백질의 생물학적 이용율에 변화가 없으며 상당한

접수일 : 2003년 12월 26일

채택일 : 2004년 1월 20일

*This research was supported by grant No. R05-2001-000-00695-0 from the Basic Research Program of the Korea Science & Engineering Foundation.

§To whom correspondence should be addressed.

고선량 (70 kGy)으로 조사하여도 단백질의 생물가에는 변화가 없었거나²⁾ 오히려 영양가가 향상되었다는 것³⁾이었다. 또한, 지방산, 특히 다중 불포화지방산의 안전성은 저하되거나 비교적 고선량에서도 필수 지방산 분자의 파괴는 일어나지 않으므로 방사선 조사의 영향은 극히 적다고 하였으며⁴⁾ 방사선 조사에 대해 내성이 약한 비타민들에 대해서도 역시 조사시 탈산소나 저온의 조건을 맞추어 주면 10 kGy 이상의 선량에서도 함량의 저하 정도가 매우 적어 영양학적인 품질에는 문제가 없는 것으로 보고하고 있다.^{5,6)} 그러나 일부 지방산의 산화적 변화와 이에 따른 항산화 영양소의 지속적인 손실이 있을 것으로 사료된다.

방사선에 대해 감수성이 큰 영양소로 잘알려져있는 비타민 E, β -carotene, 비타민 A, 비타민 B₁, 비타민 C 등^{1,7)}은 특히 산화적 스트레스에 노출이 심한 현대인에게는 섭취량이 매우 중요한 영양소들이다. 그러므로 한국인이 많이 소비하는 식품 중 비타민 A, C, E, β -carotene의 급원이 되거나 또는 다중 불포화 지방산의 함량이 높아 방사선 조사 후 생성되는 free radical이 항산화 비타민의 함량에 영향을 줄 것으로 사료되는 식품들의 방사선 조사 후 영양소 변화에 대하여 검토함은 방사선 조사 식품의 유통 이전에서부터 이루어져야할 연구라 본다. 또한 최근까지 방사선 조사 식품의 영양학적 검토는 주로 서양에서 소비되는 식품들을 대상으로 주로 이루어져 왔으므로 한국인의 다소비 식품에 대한 검토가 요구되는 시점에 있다.

이에 한국인의 다소비 식품으로 항산화 영양소의 섭취 기여도가 높으며 수입 의존도가 높은 세 가지 식품, 고춧가루, 고등어, 참깨에 대하여 방사선 조사 후 항산화 관련 영양소와 비타민 B₁의 함량 변화를 살펴보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

한국인의 다빈도 섭취 식품으로 방사선 조사에 의해 파괴율이 높을 것으로 사료되는 항산화 영양소의 대표적인 급원식품이며 국제간 교역의 증가로 수입량이 늘어나고 있는 식품으로서 특히 방사선 조사에 대한 규제가 허술하여 실제로 무분별하게 식품에 대한 방사선 조사가 이루어지고 있을 것으로 사료되는 개발도상국들로부터 수입량이 많은 고춧가루와 고등어, 참깨를 실험 재료로 사용하였다.

고춧가루는 비타민 A 급원으로 한국인에게 매우 중요한 식품이지만 2002년도 고추의 수입의존도는 19.6%로서 그 중 대부분이 중국에서 수입되고 있다.⁸⁾ 또한 국내 고추 소비 패턴이 가정에서 고추장과 김치 등의 제조에 사용해왔

던 고추 소비는 감소하는 반면, 식품업체의 가공용 건고추의 국내 유통량이 빠르게 증가하고 있는 추세이다.⁸⁾ 건고추나 고춧가루는 건조제품으로 온도가 높고 습한 저장환경에서는 쉽게 해충의 영향을 받아 품질이 저하되므로 중국 등지에서 수입되는 건조고추인 경우 방사선 조사의 가능성이 충분히 내재하고 있으나 현재 수입품에 대한 방사선 조사 현황은 잘 파악되고 있지 못하여 실험 재료로 선정하였다. 실험에 사용한 고춧가루는 2002년 전라남도 보성군 회천면의 농가에서 직접 생산한 물고추를 어떠한 물리적 화학적 처리도 하지 않은 상태로 자연건조시킨 것을 바로 구입하여 줄기와 씨를 제거하고 분쇄하여 시료로 사용하였다.

어류 중 장쇄 불포화 지방산과 항산화 비타민의 공급원인 등푸른 생선 중 고등어는 우리나라 국민들의 다소비 식품이며 2001년 통계자료를 참고하면 국내생산량에 대한 수입비율이 26.5% (생산량 141,751 M/T, 냉동수입량 37,566 M/T)으로 상당량 수입에 의존하고 있다.⁹⁾ 해양수산부 주 요통계에 의하면 1996년 이후 년간 차이는 있으나 어획량이 차차 감소하는 추세에 있으며 조기, 갈치, 명태, 고등어와 같은 대중성 어종의 수입량은 매년 증가하고 있다.⁹⁾ 또한 생선은 생육이 아닌 형태로 유통되기도 하는데 어류를 분쇄 가공 처리하여 식용어분 및 펠리트, 발효 생선, 생선 페이스트, 생선소시지, 생선묵 등에 이용하는 생선 원료는 유통과정 중 변패의 가능성이 많으므로 수입이 되는 경우 방사선 조사의 가능성을 안고 있으며 방사선 조사시 분쇄 전의 어육에 비해 표면적의 증가로 산화적 변화가 쉽게 초래될 수 있다. 실험에 사용한 고등어는 제주도에서 수확된 생물을 당일로 배송하여 사용하였다. 생선은 지느러미를 제거하고 머리와 꼬리부를 충분히 잘라낸 뒤 등뼈의 바로 윗쪽에서 지느러미 시작부분까지의 살코기 부분만 취하여 0.8 cm 간격으로 잘라 사용하였다.

종실류는 불포화 지방산의 함량이 높고 건조상태로 유통되며 대부분 장기간 보존 되는 특성으로 인하여 해충의 영향을 받기가 쉬우므로 보관 및 유통시 주의가 요구되며 일부에서는 위생적 품질 개선을 위하여 방사선 조사의 필요성을 거론하고 있다.¹⁰⁾ 그러나 불포화 지방산의 함량이 높은 종실류는 방사선 조사시 영양소의 파괴를 최소화하기 위해 특별한 조사조건과 조사 후 저장 조건이 검토되어야 한다. 종실류 중 참깨는 국내산의 가격이 매우 높으며 최근 들어 작황이 좋지 않아 대량으로 수입되고 있는 품목으로 수입 전에 방사선 조사의 가능성을 충분히 내포하고 있다. 참깨는 충청남도 금산군 복수면 수영리의 한 농가에서 생산하여 어떠한 물리적 화학적 처리도 하지 않은 상태로 자연건조시킨 것을 바로 구입하여 시료로 사용하였다.

2. 방사선 조사

식품의 방사선 조사는 각각의 식품에 허가된 최고의 선량을 고려하고 색과 질감의 변화를 수용할 수 있는 범위내에서 두 가지 선량을 선택하여 식품에 조사하였다. 방사선 조사는 한국원자력연구소의 100,000 Ci Co-60 감마선 조사시설 (AECL IR-79, Canada)을 이용하여 상온에서 8.3 Gy/min의 선량률로 조사하였다. 고춧가루는 상온 진공밀봉하여 10 kGy와 20 kGy의, 고등어는 냉동 진공밀봉하여 3 kGy와 7 kGy의, 참깨는 상온 진공밀봉하여 5 kGy와 10 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 조사하였다.

3. 분석 영양소

방사선 조사한 고춧가루에서 분석한 항산화 관련 영양소는 페놀, β -carotene, 비타민 B₁, 비타민 C 등이었으며 고등어에서는 페놀, 비타민 B₁, 비타민 A와 E를, 참깨에서는 페놀과 비타민 E를 측정하였다. 각 영양소의 분석방법은 다음과 같으며 시료 당 3회 반복 측정하였다.

4. 영양소 분석 방법

1) 총 페놀

시료의 총 페놀함량은 AOAC의 Folin-Denis법¹¹⁾을 이용하여 측정하였다. 시료를 적정량 취하여 증류수로 상온에서 3번 추출한 후 여과하여 시료용액으로 사용하였다. 참깨는 아세톤으로 탈지한 후 물추출하여 시료용액으로 사용하였다.

2) 비타민 B₁

고춧가루 2 g, 어류분말 3.5 g에 대하여 AOAC에 제시된 thiochrome 형광법¹²⁾을 이용하여 측정하였다.

3) 총 비타민 C

총 비타민 C 함량은 AOAC에 제시된 2,4-dinitrophenyl hydrazine (DNP) 법¹³⁾을 이용하여 측정하였다. 고춧가루 3 g을 메타인산 추출용매로 추출하여 여과한 후 시료용액으로 사용하였다.

4) β -carotene

고춧가루 3 g을 에탄올 60 ml과 10% pyrogallol 1 ml을 넣고 추출한 후 50% KOH 3 ml을 넣고 80°C에서 30분간 검화하여 냉각시킨 후 분액여두에 옮겨 석유에테르 100 ml로 지용성 영양성분을 함유한 ether층을 추출하였다. Ether층의 검화물은 증류수로 여러 번 세척한 후 Na₂SO₄로 분액여두에 잔류하는 물을 탈수시킨 후 여과하였다. 진공농축기에서 농축시킨 후 에탄올 2 ml에 녹여 0.45 μ m membrane filter로 여과 후 HPLC (Waters 2690 separation

module, Waters) 분석용 시료로 사용하였다. 분석조건은 Pegasil ODS C18 (10 μ m, 4.6 \times 150 mm) column, mobile phase는 methanol : chloroform = 96 : 4, flow rate 1.5 ml/min, emission 520 nm, excitation 450 nm, injection volume 20 μ l로 하여 Waters 474 scanning fluorescence detector로 측정하였다. 표준물질로는 Sigma사의 HPLC용 β -carotene (type II, Sigma)을 사용하였다.

5) α , γ -tocopherol

참깨와 고등어분에 대하여 β -carotene과 동일한 방법으로 추출하여 동일한 기종의 HPLC로 측정하였다. 분석조건은 Senshu Pak Pegasil ODS C₁₈ (10 μ m, 4.6 \times 150 mm) column, mobile phase는 methanol : water = 96 : 4, flow rate는 1.0 ml/min, wave length 295 nm, injection volume 20 μ l, detector는 Waters 996 Photodiode Array detector를 사용하여 측정하였다. 표준 물질로는 (+)- α -tocopherol (type V)과 (+)- γ -tocopherol은 Sigma (USA)사 제품을 사용하였다.

결 과

1) 고춧가루의 항산화 비타민 및 비타민 B₁의 함량 변화

고춧가루를 각각 10 kGy와 20 kGy로 방사선 조사한 후 총페놀 함량은 조사 하지 않은 시료 (1.43 \pm 0.003%)에 비해 각각 98.6%, 92.3%로 소폭으로 감소하였다. β -carotene 함량은 방사선 조사 직후 조사하지 않은 시료의 함량 (5.08 mg/100 g)에 비하여 10 kGy로 조사시 97.8%와 20 kGy로, 조사시 94.5%로 각각 소폭으로 감소하였다. 비타민 C의 함량은 감소 폭이 커서 조사 직후 조사 전 시료의 함량 (18.26 mg/100 g)에 비하여 10 kGy 조사시 76.4%으로, 20 kGy 조사시 68.5% 잔존하는 것으로 측정되었다. 비타민 B₁는 비조사 시료에서 0.233 mg/100 g 이었으며 10 kGy로 조사한 직후는 54.9%, 20 kGy로 조사한 후에는 80.7% 잔존하는 것으로 나타났다 (Table 1).

2) 고등어의 항산화 영양소와 비타민 B₁ 함량의 변화

냉동 진공 포장 상태의 고등어를 3 kGy와 7 kGy로 조사하였을 때 총페놀 함량은 비조사시료의 함량 0.345 \pm 0.026%에 비하여 3 kGy 조사시 91.3%, 7 kGy조사시 94.2%가 잔존하는 것으로 나타나 비교적 소폭으로 감소하였다. Retinol 함량은 비조사 시료의 168 μ g/100 g에 비하여 3 kGy 조사시 비조사 시료의 82.6%, 7 kGy로 조사시 비조사 시료의 78.0%가 잔존하는 것으로 나타나 조사선량이 높아짐에 따라 retinol의 함량이 점차 감소되었다. 비타민 E의 고

Table 1. Changes of total phenol and antioxidant nutrients in irradiated red pepper powder at 10 and 20 kGy

Irradiation dose (kGy)	0	10	20
Total phenol (%)	1.43 ± 0.003 ¹⁾	1.41 ± 0.001 (98.6) ²⁾	1.32 ± 0.003 (92.3)
β-carotene (mg/100 g)	5.08 ± 0.08	4.97 ± 0.16 (97.8)	4.80 ± 0.28 (94.5)
Vitamin C (mg/100 g)	18.26 ± 6.95	13.95 ± 4.37 (76.4)	12.50 ± 3.10 (68.5)
Vitamin B ₁ (μg/100 g)	23.3 ± 4.77	12.8 ± 6.66 (54.9)	18.8 ± 2.01 (80.7)

1) Mean ± SD. All of the measurements were performed in triplicate

2) Percentage of nutrient contents in non irradiated food

Table 2. Changes of total phenol and antioxidant nutrients in irradiated mackerel at 3 and 7 kGy

Irradiation dose (kGy)	0	3	7
Total phenol (%)	0.345 ± 0.026 (100)	0.315 ± 0.03 (91.3)	0.325 ± 0.046 (94.2)
Retinol (μg/g)	1.68 ± 0.07 (100)	1.38 ± 0.01 (82.6)	1.31 ± 0.17 (78.0)
α-tocopherol (mg/100 g)	3.86 ± 0.21 (100)	3.73 ± 0.26 (96.6)	1.31 ± 0.29 (33.9)
Vitamin B ₁ (μg/100 g)	39.0 ± 3.93 (100)	14.3 ± 1.43 (36.5)	20.1 ± 1.42 (51.5)

1) Mean ± SD. All of the measurements were performed in triplicate

2) Percentage of nutrient contents in non irradiated food

Table 3. Changes of total phenol and antioxidant nutrients in irradiated sesame seed at 5 and 10 kGy

Irradiation dose (kGy)	0	5	10
Total phenol (mg/g)	0.244 ± 0.007 (100) ¹⁾	0.230 ± 0.009 (94.3) ²⁾	0.240 ± 0.012 (98.4)
Retinol (μg/g)	0.079 ± 0.003 (100)	0.069 ± 0.002 (87.8)	0.064 ± 0.003 (82.1)
γ-tocopherol (mg/100 g)	4.68 ± 0.51 (100)	3.39 ± 0.35 (72.4)	3.11 ± 0.27 (66.5)

1) Mean ± SD. All of the measurements were performed in triplicate

2) Percentage of nutrient contents in non irradiated food

등어내 주형태인 α-tocopherol은 방사선 조사 하지 않은 시료의 함량인 3.86 ± 0.21 mg/100 g 에서 3 kGy로 조사시에는 큰 변화를 보이지 않았으나 (비조사 시료의 96.6%), 7 kGy로 조사하였을 때는 잔존량이 비조사 시료에 비하여 34%에 불과하여 크게 감소하였다. 비조사 시료내 비타민 B₁의 함량은 0.39 mg/100 g 이었으며 조사 후 크게 감소하여 3 kGy와 7 kGy로 조사시 비조사 시료의 각각 36.5%와 51.5% 정도 잔존하는 것으로 나타났다 (Table 2).

3) 참깨의 항산화 비타민과 비타민 B₁ 함량의 변화

참깨를 각각 5 kGy와 10 kGy로 방사선 조사하였을 때 총 페놀 함량은 비조사시료 0.244 ± 0.007%에 비하여 5 kGy로 조사시 94.3%, 10 kGy로 조사시 98.4% 잔존하는 것으로 측정되어 큰 차이가 없었다. 비타민 A의 함량은 비조사시료에 비하여 5 kGy로 조사시 87.8%, 10 kGy 조사시 82.1%로 점차 감소하고 있었으나 참깨의 비타민 A의 함량이 매우 적어 유의있는 차이로 보기는 어려웠다. 참깨에 함유되어 있는 비타민 E의 주 형태인 γ-tocopherol¹²⁾을 측정 한 결과 비조사 시료의 γ-tocopherol 함량은 4.68 ± 0.51 mg/100 g이었으며 조사 후 선량에 따라 감소하여 5 kGy 조사시 비조사시료의 72.4%, 10 kGy로 조사시 비조사시료의 66.5%로 감소하였다 (Table 3).

고 찰

식품의 방사선 조사는 전통적인 식품 보존 방법은 아니므로 최근에 문제가 되고 있는 유전자 조작 산물과 함께 과학적인 뚜렷한 증거없이 소비자들에게 제공될 때는 거부감을 일으키게 되고 그로 인하여 활용 범위 제한이라는 결과를 초래할 수 있다. 소비자 측에서 볼 때 어떠한 새로운 식품가공방법을 도입하던지 이는 건강과 밀접한 관련성을 가지고 있으므로 안전성에 대한 충분한 근거 자료들을 요구하게 된다. 이러한 근거자료가 충분히 제시되지 않는 경우는 소비에 있어 크게 제한을 받게 된다. 또한 국민들에게 적정 영양권장량을 제시하고 건강한 식생활 교육을 하기 위해서는 국민들의 영양 섭취량에 대한 정확한 정보가 기초가 되어야 한다. 영양섭취량을 조사하는 과정에서 대상자들에게 부족되기 쉬운 영양소의 주 급원 중 가공과 유통상의 문제로 인하여 영양소 함량에 변화가 있을 수 있는 식품이 있다면 이에 대한 검토가 이루어져야 정확한 자료를 산출할 수 있다.

식품의 방사선 조사는 고전적인 연구에서도 일부의 영양소 손실에 대해 언급되어왔으므로¹⁾ 특히 국내에서 다량으로 소비되는 식품에 함유되어있고 방사선 조사에 대해 민감도가 큰 영양소들에 대해 재조명할 필요가 있다. 특히 예

전에는 크게 중요하게 생각되지 않았던 산화적 스트레스의 위해성이 최근들어 강조되면서 방사선 조사 후 식품의 산화적 변화에 대해 주목할 필요가 있게 되었다.

2002년 국민건강·영양조사에 의하면 비타민 A는 한국의 유아, 학동기, 20대와 50대 이후의 성인에게 부족한 영양소로 나타나며 특히 65세 이후의 노년기에는 섭취량이 권장량의 66.5%에 불과한 것으로 조사되었다.¹³⁾ 국내에서 비타민 A의 섭취량에 대한 식품의 기여도 중 1위를 기록하는 것이 납너 모두에서 고춧가루이며 그 기여도는 10%가 넘는 것으로 조사되었다.¹³⁾ 이와 같이 국내인들의 비타민 A의 섭취량에 기여도가 큰 고춧가루의 영양학적 품질은 매우 중요하다고 볼 수 있다. 국내에서 고춧가루와 같은 건조 향신료의 방사선 조사선량은 10 kGy이하로 허용되어있다. 본 연구결과에 의하면 허용 선량인 10 kGy에서에서 비타민 C와 비타민 B₁ 등 방사선 조사에 민감한 영양소의 함량은 각각 76.4%, 54.9%로 저하되어있었다. 본 연구 결과에서 20 kGy로 조사한 시료내 비타민 B₁의 함량이 10 kGy로 조사한 경우보다 많은 것으로 나타났는데 그 이유로는 방사선 조사에 따라 측정과정 중 유리형 비타민 B₁의 수율이 높아지거나 형광도의 간섭효과를 일으키는 물질의 생성을 고려해 볼 수 있으나 이러한 사실을 확인하지 못했으므로 연구되어야할 과제로 남아있다. 이러한 현상은 방사선 조사한 고등어에서도 동일하게 나타났다. 한편, 실험 전에 예측하였던 것과 달리 총 페놀과 β -carotene의 함량은 비교적 소폭으로 감소하여 고춧가루에서 이 성분들의 방사선 조사에 대한 내성은 비교적 큰 것으로 관찰되었다. 그러나 최근 식품의 방사선 조사허용량을 증가시키고자하는 움직임을 고려한다면¹⁴⁾ 좀 더 높은 선량에서 조사하여 영양소의 함량 변화를 조사해 볼 필요도 있다. 특히 건조 향신료들은 조사선량이 높아져도 질감의 변화나 이취감이 거의 없으며 오히려 색상이 밝아지는 효과를 볼 수 있으므로¹⁵⁾ 상품의 외견상 가치와 식품가공적성을 높일 수 있어 허용선량이 증가될 가능성이 있으므로 이 경우 영양학적인 검토가 요구된다.

본 연구 결과에 의하면 고등어를 3과 7 kGy로 조사하였을 때 가장 민감하게 함량이 감소하는 영양소로는 α -tocopherol과 비타민 B₁이었으며 이 중 비타민 B₁의 감소 정도는 고춧가루에 비하여 더 크게 나타나 시료 중 영양소의 함량이나 존재형태 등에 따라 방사선 조사에 대한 감수성이 다른 것으로 사료된다. 비타민 B₁은 수용성 비타민 중에서 방사선 조사에 가장 민감한 영양소로 알려져 왔다.¹⁶⁾ 쇠고기에 30 kGy로 방사선 조사한 후 화학적, 미생물학적, 쥐의 성장 측정 등의 방법을 이용하여 연구한 결과 비타민

B₁의 60~70%가 파괴되는 것으로 보고되었다. 초기연구에서는 육류에 방사선 조사를 할 경우 thiamin과 pyridoxine의 항 대사인자들 (antithiamin or antipyridoxine)이 발생할 수 있다는 주장으로 하여 이에 대한 연구가 수행되었으나 최종적으로 어떤 항비타민 인자의 발생도 발견할 수 없었으므로¹⁷⁾ 방사선 조사 식품의 thiamin 활성 저하는 비타민의 대사를 저하 때문은 아닌 것으로 판명되었다. 본 연구에서 고등어를 조사할 때 진공포장의 상태로 조사하였음에도 불구하고 비타민 B₁의 손실율이 50~65%정도로 나타나 선연구들에서 보고된 바와 같이 방사선 조사에 대해 비타민 C보다 더 민감한 영양소임을 알 수 있었다. 또한 α -tocopherol은 특히 선량이 높은 7 kGy에서 감소폭이 큰 것으로 나타났다. 따라서 식품의 방사선 조사에 대한 내성은 방사선 조사 당시 시료의 온도나 수분활성도,¹¹⁾ 시료 내 영양소들의 초기 농도 및 존재 형태, 불포화 지방산의 함량 등이 영향을 미칠 것으로 사료된다. 질소가스 하에서 30 kGy로 방사선 조사한 쇠고기의 비타민 E 손실이 없었던 반면, 산소 존재하에서 조사한 경우 비타민 E의 37%가 손실되었다고 하였는데¹⁸⁾ 본 연구 결과는 고등어를 진공포장하여 조사처리하였음에도 불구하고 비타민 E의 손실율이 더 높은 것으로 나타났다. 따라서 불포화도가 높은 장쇄지방산을 함유하고 있는 식품은 방사선 조사시 조사 조건이나 선량에, 또한 유통기간 중에는 보관방법에 특별히 주의를 기울여야할 것으로 보인다.

불포화 지방산의 함량이 많은 중실류에도 같은 문제가 발생할 수 있는데 특히 국내의 생산량이 부족하여 상당량 수입에 의존하는 다소비 식품으로 참깨나 들깨, 대두 등의 방사선 조사 여부나 조사 조건이 허용기준내에서 이루어졌는가는 충분히 검토되어야할 것으로 사료된다. 본 연구에서 들깨나 대두에 관한 검토는 함께 이루어지지 않았으나 참깨의 경우 주 항산화 영양소인 γ -tocopherol의 함량이 방사선 조사 직후 30~40% point 정도 감소하는 것으로 볼 때 수확 후 건조 및 유통과정에서 미생물이나 해충에 의한 오염가능성을 줄이고자 방사선 조사를 하게되면 유통과정에서는 오랜 기간 산소와 접촉하지 않도록 함이 바람직하다. 방사선 조사로 인하여 생성된 free radical이 얼마나 오랜기간 동안 식품내 잔존하는지에 대한 의문은 최근 방사선 조사 식품의 검지 기술이 발달되면서 해결될 수 있었다. 식품의 방사선 조사 여부 검지 방법 중 식품내 잔류 radical의 농도를 ESR (electron spin resonance) spectroscopy로 측정할 수 있게 되었다. 이러한 연구에 의하면 식품의 방사선 조사로 인하여 발생된 free radical은 상당 기간 잔존하여 들깨나 참깨의 경우 10 kGy 조사시 4주 후

85%까지 잔존하는 것으로 나타났으며¹⁰⁾ 이러한 경향은 참깨 뿐 아니라 귀리, 옥수수, 밀 등에서도 15일에서 40일까지 free radical이 거의 안정하게 남아있어 검지되었다고 하였으므로¹⁹⁾ 조사 식품의 저장기간 동안 산소와 접촉정도에 따라 차이는 있겠지만 항산화 영양소의 지속적인 소모를 완전히 배제하기는 어렵다고 볼 수 있다.

따라서 식품의 방사선 조사시 일부 항산화 영양소의 손실이 초래됨을 인지하고 국민의 영양섭취 실태 판정시 고려되어야 할 것이며 정부에서는 국가간 식품 교역시 불법적인 방사선 조사를 검지할 수 있는 기술을 확립하여 소비자들을 보호할 수 있는 대책을 마련해야 할 것이다. 아울러 식품의 미생물 오염방지나 숙도 조절 등으로 방사선 조사를 해야 할 경우 식품의 산화적 변화를 최소화할 수 있는 조사 조건과 유통과정 중의 보관 방법이 연구되어야 할 것이며 소비자들에게는 식품의 방사선 조사 여부를 정확하게 알릴 수 있는 법적 제도가 필요로 된다.

요약 및 결론

국제간 식품의 교역이 활발해 지면서 식품의 보존성과 유통기한을 늘이기 위해 식품의 방사선 조사가 다양하게 실시되고 있는 시점에서 영양학적인 검토가 다각적으로 이루어져야 할 필요가 있게 되었다. 본 연구에서는 한국인의 다소비 식품 중 항산화 영양소의 섭취 기여도가 높으나 수입 의존도가 높아 방사선 조사의 가능성이 큰 세 가지 식품으로 고춧가루, 고등어, 참깨를 선정하여 방사선 조사 후 항산화 영양소와 비타민 B₁의 함량 변화에 대해 살펴보고자 하였다.

- 상온 진공 밀봉한 고춧가루를 10 kGy와 20 kGy로 조사하였을 때 총 페놀 함량은 각각 비조사 시료의 98.6%, 92.3%이었으며 β-carotene 함량은 97.8%, 94.5%로 감소하였다. 비타민 C의 함량은 비조사 시료의 76.4%, 68.5%이었으며, 비타민 B₁의 함량은 54.9%, 80.7%로 감소하였다.

- 고등어를 3 kGy와 7 kGy로 조사하였을 때 총페놀 함량은 비조사 시료의 91.3%와 94.2%로 소폭으로 감소하였으며 비타민 A는 각각 82.6%와 78.0%로, 비타민 B₁은 30.5%와 51.5%로 비타민 B₁의 감소폭이 가장 크게 나타났다. 또한 α-tocopherol은 3 kGy에서는 크게 감소하지 않았으나 7 kGy로 조사하였을 때 33.9%로 감소되었다.

- 참깨는 5 kGy와 10 kGy로 조사하였을 때 총페놀 함량은 비조사 시료의 94.3%와 98.4%로, 비타민 A의 함량은 87.8%와 82.9%로, γ-tocopherol 함량은 72.4%와

66.5%로 감소되었다.

이상의 결과로부터 항산화 영양소 중 모든 시료의 총 페놀 함량과 고춧가루에서 β-carotene은 비교적 방사선에 대한 내성이 큰 것으로 나타났으나 비타민 C와 비타민 B₁, 비타민 E들은 상대적으로 방사선에 대한 내성이 약한 것으로 나타났으므로 이러한 영양소의 급원 식품에 대한 방사선 조사 조건과 조사 후 저장 시 조건이 충분히 검토되어야 할 것이다.

Literature cited

- 1) Lee CH. Acceptance and trading on irradiated foods. Korea University Press. Seoul, 1998
- 2) Underal B, Nordal J, Lunde G, Eggum B. The effect of ionizing radiation on the nutritional value of mackerel. *Lebensm Wiss & Technol* 9: 72-74, 1973
- 3) Dagher NJ, Sell JL, Mateos GG. Effect of gamma irradiation on nutritional value of lentils (*Lens culinaris*) for chicks. *Nutr Rept Int* 27: 1087-1093, 1983
- 4) Thayer DW. Food irradiation-Benefits and concerns. *J Food Qual* 13: 147-169, 1990
- 5) Thayer DW, Shieh JJ, Jenkins RK, Phillips JG, Wierbicki E, Ackerman SA. Effects of gamma ray irradiation and frying on the thiamine content of bacon. *J Food Qual* 12: 115-134, 1989
- 6) Galetto W, Kahan J, Eiss M, Welbourn J, Bednarczyk A, Silberstein O. Irradiation treatment of onion powder: effects on chemical constituents. *J Food Sci* 44: 591-595, 1979
- 7) Hayes DJ, Murano EA, Murano PS, Olson DG, Sapp SG. Quality of food irradiated foods. In: Murano EA, ed. Food irradiation-a sourcebook, pp. 63-87, Iowa State University Press. Ames, 1995
- 8) 2002년산 고추 수급현황과 가격 전망. 한국농촌경제연구원 농업관측정보센터, Seoul, 2002
- 9) Ministry of Maritime Affairs and Fisheries. 2003 Statistical Year Book of maritime Affairs and Fisheries, <http://www.momaf.go.kr>, Seoul, 2003
- 10) Lee EJ, Yang JS. Changes of free radical concentrations with irradiation dose and storage time in gamma-irradiated sesame and perilla seeds. *Korean J Food Sci Technol* 34(3): 396-399, 2002
- 11) Official Methods of Analysis. 16th ed, Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, 1995
- 12) Development of nutrient database-2 vitamin composition of foods. Korea Health Industry Development Institute, Seoul, 2002
- 13) Report on 2002 national nutrition survey by season. Ministry of Health and Welfare, Seoul, 2002
- 14) Ahn BS, Lee CH. Changes in microbial and chemical composition and sensory characteristics of fermented soybean paste, chungkukjang, by high dose gamma irradiation (10-120 kGy). *Korean J Food Sci Technol* 35(2): 166-172, 2003
- 15) Kwon JS. Studies on the stability and color reversion of irradiated green tea. MS thesis, Chungnam National University, 2002
- 16) Hayes DJ, Murano EA, Murano PS, Olson DG, Sapp SG. Quality

- of irradiated foods. In: Murano EA, ed. Food irradiation-a source book, pp.76-78, Iowa State University press, Ames, 1995
- 17) Skala JH, McGown EL, Waring PO. Wholesomeness of irradiated foods. *J Food Prot* 50: 150-160, 1987
- 18) Diehl JF. Food irradiation: is it an alternative to chemical preservatives? *Food Addit and Contam* 9: 409-416, 1992
- 19) Murrieta HS, Munoz EP, Adem E, Burillo G, Vazquez M, Cabrera EB. Effect of irradiation dose, storage time and temperature on the ESR signal in irradiated oat, corn and wheat. *Appl Radiat Isot* 47: 1657-1661, 1996